

基于夜间灯光数据的城市空间动态扩张分析

——以江苏省为例

刘欣^{1,2}, 李凌峰¹, 蔡琦³

(1 扬州大学建筑科学与工程学院, 江苏 扬州 225127; 2 东南大学土木工程学院, 南京 211189;

3. 常州市城乡建设工程管理中心, 江苏 常州 213001)

摘要: 引用改进动态阈值法和重心模型, 分析江苏省城市动态扩张时空特征, 得到江苏省城市建成区的空间分布情况及区域差异。结果表明, 2000—2021年, 提取的城市建成区面积与实际符合, 演变规律与城市经济发展相贴合, 形成以南京市、苏州市、徐州市为中心的“放射状”集聚形态, 不同城市、不同阶段扩张速度差异明显, 发展重心逐渐由南向北推进, 由南京都市圈和苏锡常都市圈为主的发展模式逐渐向均衡发展模式转变。

关键词: 江苏省; 城市建成区; 夜间灯光影像; 城市扩张; 重心轨迹

中图分类号: F29.9 **文献标志码:** A **文章编号:** 1671-1807(2024)17-0239-08

随着人口和经济快速增长, 城市空间已无法承受人口和工业聚集的激增。研究显示, 城市空间扩张目前正朝着合理紧凑的方向演变, 这有利于发展交通、节约资源^[1], 同时也是促进城市可持续发展的基础^[2]。伴随城市化进程的加快, 城市建成区不断更新、向外延伸的现象愈发明显, 出现了许多不安全、不舒适的问题, 如城市规划不合理所导致的城市形态松散、景观破碎以及土地利用效率低下所带来的耕地流失、资源浪费、生态环境破坏等一系列问题^[3-4]。因此, 时空动态特征下的城市建成区扩张与动态轨迹演化研究, 对于预防城市无序扩张、制定城市规划、促进城市可持续发展意义重大^[5]。

现阶段有关城市扩张研究主要依据地方统计数据以及传统遥感影像数据进行分析。随着科技进步, 基于遥感和地理信息系统 (geographic information system, GIS) 的区域大尺度土地覆被变化同步观测, 为长时间序列城市空间动态演化研究提供了坚实的技术支撑^[6]。通过获取地表发射的可见光-近红外电磁波信息, 夜间灯光数据将人类活动与黑暗背景相区分, 基于人类活动为中心的独特视角, 直接揭示地表城市经济和社会活动的潜在规律, 其灯光亮度值也可以很好地反映城市化水平。当前, 国内外学者应用夜间灯光数据分别在人口估算^[7-8]、城市扩张监测^[9-11]、碳排放预测^[12]、城市经济

效率评估^[13]与城市发展空间特征^[14-16]等相关领域研究中都取得了一定的研究成果。

基于此, 以长时间序列夜间灯光数据 (DMSP/OLS) 及其后续年份的夜间灯光数据 (VIIRS/DNB) 为主, 辅以统计年鉴数据, 参考改进的“动态阈值法”^[16], 通过计算城市建成区范围与人类活动范围变化结果, 刻画和分析 2000—2021 年省域内各城市建成区空间格局动态演变特征和趋势, 可为区域城市体系的规划、优化与协调发展提供参考建议, 同时也为全国各省各级政府制定科学合理的区域发展战略和城市国土空间规划提供科学依据, 进而推动城市的可持续发展。

1 研究区域与数据来源

1.1 研究区概况

江苏地处长三角区域的核心位置, 下辖 13 个市级行政区, 兼具沿江沿海的地理区位和交通优势明显, 土地利用总面积 10.72 万 km² (图 1)。截至 2021 年末, 江苏省国内生产总值 11.63 万亿元, 相较 2020 年增长 8.6%, 三产结构为 4.1:44.5:51.4, 人均 GDP 为 13.7 万元, 连续 12 年居全国前列^[17]。

2015 年 2 月 4 日, 国务院印发的《国家新型城镇化综合试点方案》中将江苏省列为国家新型城镇化的综合试点省之一。2020 年, 江苏省常住人口城镇化率达到 73.44%, 高于全国平均水平近 10%, 与

收稿日期: 2024-02-26

基金项目: 扬州大学人文社会科学基金 (xj2021-07); 扬州大学中国大运河研究院开放课题

作者简介: 刘欣 (1984—), 女, 辽宁大连人, 博士, 讲师, 研究方向为建筑信息化、城市发展; 李凌峰 (2001—), 男, 安徽宿州人, 硕士研究生, 研究方向为城市发展规划; 蔡琦 (1997—), 男, 江苏泰州人, 硕士研究生, 研究方向为城市发展规划。



审图号:苏S(2023)26号

图1 研究区域行政区划示意图

2010年相比,占比增长13.22%,表明江苏各地常住人口承载力与社会经济聚集力都已经得到了进一步增强与提升,城镇化进程不断加快,城镇化水平也稳居于全国前列。但由于“南高北低”态势愈发明显,使得城市化水平空间差异程度不断增大的同时,空间差异化显著。在积极融入长三角区域一体化的背景下,准确把握城市空间格局及其变化趋势,对促进经济发展,产业转型升级,城市资源可持续利用,全国、区域、省域城市化水平均衡发展等都具有重要的借鉴意义。

1.2 数据来源

数据源包括2000—2021江苏省逐年的DMSP/OLS和VIIRS/DNB夜间灯光影像、江苏省城市建成区面积统计资料。具体数据如下。

(1)DMSP/OLS夜间灯光影像,由美国国家海洋与大气管理局(NOAA)提供,该数据属于全球年度栅格影像,拥有持久性夜间平均光强,已经过云层、光火等偶然噪声影响的消除,并对全年灰度值进行了直接平均化处理,平均灯光强度(DN)值范围为0~63。选取2000—2013年无云平均稳定的夜间灯光影像数据,从F14(1998—2003年)、F15(2000—2007年)、F16(2004—2009年)和F18(2010—2013年)4种传感器获取,共有22幅稳定灯光影像数据,影像地理坐标系为WGS1984。

(2)VIIRS/DNB夜间灯光影像,来源于地球观测卫星(Suomi-NPP)携带的可见红外成像辐射传感器(VIIRS)采集的数据,数据是利用可见光红外成像辐射仪套件昼/夜波段的夜间数据制作的一套平均辐射复合图像,在月度数据的基础上进一步过滤

了生物质燃烧,极光和背景噪声等无关特征。其中,选取的2013—2021年夜灯光数据是从2022年VIIRS/DNB月度数据制作的第2版全球年度灯光数据集(Annual VNL V2)中获取。

(3)辅助数据。①江苏省行政区划数据。江苏省省域和各城市行政区划数据来源于国家基础地理信息中心,并对照2021年度民政部对行政区划的调整进行对比修改,坐标系为WGS1984;②统计年鉴数据。主要来源于住房与城乡建设部发布的城市建设统计年鉴,用于提取建成区面积的对比验证。

1.3 研究框架

本文适用于区域长时间序列夜间灯光数据集的预处理及校正方法,通过对江苏省城市区域的稳定夜间灯光数据进行一系列处理,并对城市建成区提取及城市重心迁移进行分析(图2)。

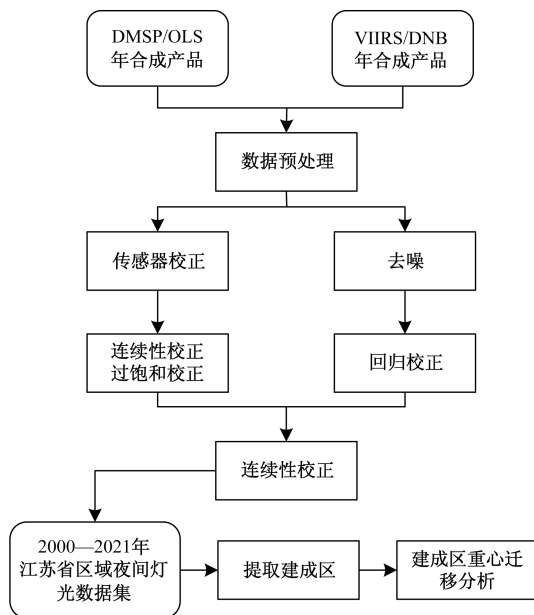


图2 研究框架

2 研究方法

由于研究对象是江苏省各地级市2000—2021年长时间序列的城市建成区发展现状,其中DMSP/OLS数据时间跨度为1992—2013年,VIIRS/DNB数据的时间跨度为2012年之后,两种数据都仅涵盖本研究定义的时间段的一部分时期,单一的数据源不能满足需求,因此需要将两者结合完成城市建成区动态扩张分析。

2.1 数据预处理

DMSP/OLS和VIIRS/DNB夜间灯光数据均采用WGS1984坐标系,为了统一影像参考坐标系标准,利用ArcGIS10.6软件将夜间灯光数据坐标

转换为 Krasovsky_1949_Albers 投影坐标系,进而
在全球夜间灯光数据的基础上,提取 2000—2021 年
夜间灯光数据中的江苏区域影像。

2.2 DMSP/OLS 夜间灯光数据的校正

2.2.1 DMSP/OLS 夜间灯光数据亮元提取

提取 2000—2013 年 4 组传感器共 22 期夜间灯
光数据中江苏区域影像,并提取像元亮度值大于 0
的像元,以获得江苏省区域长时间序列的潜在城市
数据集。分析发现不同传感器获得同年影像总亮
元数值不一样,且存在前一年影像中极少亮元在后
一年影像中消失的现象,这些不稳定亮元由多种因
素所导致,虽然属于正常现象,但不能真实反映江
苏省城市建成区扩张发展情况。

稳定亮元提取是建立在后一年影像应较前一
年影像呈现扩张态势、同年不同传感器获取的稳定
亮元的范围保持一致等的基础上,应用软件 ArcGIS
10.6 中相交分析功能,对不同传感器的同一年影像
进行处理,过程中剔除不一致的亮元。其中,假设
F182013 的全部数据为稳定亮元,通过对 F182012
及 F182013 的数据进行相交分析,得到 F182012 的
稳定亮元影像。以此类推,得到 2000—2013 年的江
苏省城市稳定亮元数据集。

2.2.2 传感器的相互校正

不同传感器之间目前普遍使用伪不变目标区
域法^[18-19]进行相互校正,以降低数据的不连续性。
针对 DMSP/OLS 夜间灯光数据不同年份、不同传
感器之间缺乏可比性、连续性的问题,采用张梦琪
等^[19]的研究成果,选取鸡西市作为伪不变目标区
域,对 2000—2013 年 4 组传感器共 22 期灯光数据
影像进行相互校正。以鸡西市 F162004~F162009
期(2004—2009 年)稳定亮元作为参考数据集。校
正过程如下。

(1)利用 F16 的数据校正 F15 的数据。重合的
年份为 2004—2007 年,基于最小二乘法建立一元二
次回归模型,进行拟合回归,方程表达如下:

$$DN_{16} = aDN_{15}^2 + bDN_{15} + c \quad (1)$$

式中:DN₁₆ 为 F16 传感器 2004—2007 年参考数据
集 DN 值;DN₁₅ 为 F15 传感器 2004—2007 年数据
集 DN 值;a、b、c 为回归参数。

(2)通过上述所求得的参数 a、b、c 构建一个校
正传感器 F15 的微分方程:

$$DN' = aDN_0^2 + bDN_0 + c \quad (2)$$

式中:DN₀ 和 DN' 分别为 F15 校正前、后的 DN 值。
利用方程(2),处理 F15 传感器 2000—2007 年数据

集,得到数据集 F15'。

(3)利用上述公式,校正 F14,得到 F14'。以此
类推,依次校正,得到数据集 F12'、F10'。

(4)对 F162009 数据和 F182010 数据进行一元
二次回归建模,并校正 F18 数据集,得到 F18'。校
正参数见表 1。

表 1 传感器校正回归模型的参数

数据集	a	b	c	SSE	R ²
F16→F15	-0.001447	1.091	0.913	8.531×10 ⁴	0.930 9
F15→F14	-0.003202	1.093	1.766	1.523×10 ⁵	0.864 6
F14→F12	0.003413	0.628	2.717	2.337×10 ⁴	0.956 4
F12→F10	0.001906	0.832	0.886	1.255×10 ⁴	0.917 1
F16→F18	0.004262	0.673	0.766	5.901×10 ⁴	0.895 5

注:SSE 为真实值与预测值之间差的平方和。

2.2.3 连续性校正和过饱和校正

不同传感器获取的同一年影像 DN 值存在不
同。为保证数据的稳定性,对相互校正后的稳定亮
元的 DN 值进行校正^[20]。

$$DN_n = \frac{DN_n^a + DN_n^b}{2} \quad (3)$$

式中:DN_n^a 和 DN_n^b 为校正前的第 n 年度 a、b 两种传
感器获得的 DN 值;DN_n 为校正后的第 n 年度的
DN 值。

夜间灯光影像后一年的 DN 值应不小于前一年
的 DN 值。故此,进行连续性校正。

$$DN_{(n,i)} = \begin{cases} DN_{(n-1,i)}, & DN_{(n-1,i)} > DN_{(n,i)} \\ DN_{(n,i)}, & \text{其他} \end{cases} \quad (4)$$

式中:n=2000,2001,⋯,2013 年;DN_(n-1,i) 为前一
年 DN 值;DN_(n,i) 为后一年 DN 值。此过程完成后,
最后再用式(5)进行过饱和校正。

$$DN_n = \begin{cases} 63, & DN_n > 63 \\ DN_n, & \text{其他} \end{cases} \quad (5)$$

2.3 VIIRS/DNB 合成的年平均灯光辐射数据的校正

2.3.1 预处理及去噪

VIIRS/DNB 合成的年平均灯光辐射数据(An-
nual VNL V2)已经对卫星成像数据进行了一些处
理,虽极大提高了夜间灯光数据质量,但对于气体
燃烧(gas flares)并没有处理^[21],而且在其周围产生
大量的耀斑(glow),对于构建稳定的夜间灯光数据
来说无疑是一个很大的影响因素。因此,需要对
VNL V2 数据进行一些简单处理。基于此,取
0.30×10⁻⁹ W/(m²/sr)作为阈值进行去噪处理^[16],
以进一步去除 VNL V2 数据中的火点和背景噪声。

2.3.2 拟合回归校正

为使处理后的两种夜间灯光数据能够保持一致和连贯,选择2013年的VIIRS/DNB合成数据对VIIRS/DNB和DMSP/OLS进行空间分辨率匹配,再将2014—2021年的VIIRS/DNB数据转换为拟合的DMSP/OLS数据后,为使两种不同数据之间有可比性,以便后续连续性校正,需进行拟合回归校正。将VIIRS/DNB数据进行处理,将其转为整型,通过与DMSP/OLS数据对比,发现VIIRS/DNB数据低值区域与DMSP/OLS数据0值区域基本重合。以此为基础,对VIIRS/DNB数据重分类,去除极小值像元并缩小值域范围。利用DMSP/OLS数据校正VIIRS/DNB数据,将两种灯光数据DN值校正到相同的尺度范围内,利用回归模型式(6)对所有VIIRS/DNB数据进行校正。

$$Y = aX^b + c \quad (6)$$

式中: X 为VIIRS/DNB数据校正前的像元DN值; Y 为VIIRS/DNB数据校正后的像元DN值; a 、 b 、 c 为校正参数。

2.4 城市建成区的提取

动态阈值法包括经典阈值法、统计数据法、中高分辨率影像数据空间比较法与突变检测法^[22]。在4种方法中,统计数据法提取建成区面积时,在绝对误差值和相对误差值方面最小,其精度也最高;统计数据法比经典阈值法更加具有科学性,比中高分辨影像数据空间比较法所需数据量较少,在处理数据过程中能够有效减少误差;比突变检测法更加合理地展现了提取建成区的细节。由此可以看出,统计数据法对于灯光数据提取过程与结果更为精细、快捷,可有效降低灯光溢出效果^[23]。

校正去噪后的夜间灯光数据虽不能准确反映城市建成区面积,但是灯光强度越高的区域是城市建成区的可能性也越大。在此基础上,利用改进的动态阈值法,采用参考数据辅助对比方法,以夜间灯光影像数据作为主要数据来源,统计年鉴数据作为参考数据。进而以江苏省城市建成区行政边界为参考,对所下载的夜间灯光数据进行剪裁,以2000—2021年度统计年鉴中各城市建成区面积数据为参考,将动态阈值下的灯光数据面积与统计年鉴中建成区面积绝对值之差(阈值)进行比较,通过阈值大小不断调整以获得绝对值最小的最佳阈值,利用ArcGIS10.6软件提取各城市建成区面积。

2.5 城市建成区时空扩展重心分析

依据物理学中的区域重心模型:假设区域是由

多个像元所组成,则该区域的重心计算方法如下:

$$X = \sum_{i=1}^k A_i x_i / \sum_{i=1}^k A_i \quad (7)$$

$$Y = \sum_{i=1}^k A_i y_i / \sum_{i=1}^k A_i \quad (8)$$

式中: X 、 Y 分别为研究区域内重心的经纬度坐标; A_i 为第 i 个像元的DN值(即权重); x_i 、 y_i 为第 i 个像元的坐标; k 为研究区域内像元要素总和。

从式(7)、式(8)可以看出,某区域重心位置即迁移因素,受控于区域内像元的空间地理位置及相应的DN值。假定研究中区域内某像元地理位置不变,那么影像中心变化的因素即是其像元的DN值。由此可以看出,任何一个地区像元的DN值改变,都会直接影响区域重心的迁移变化。

3 结果与分析

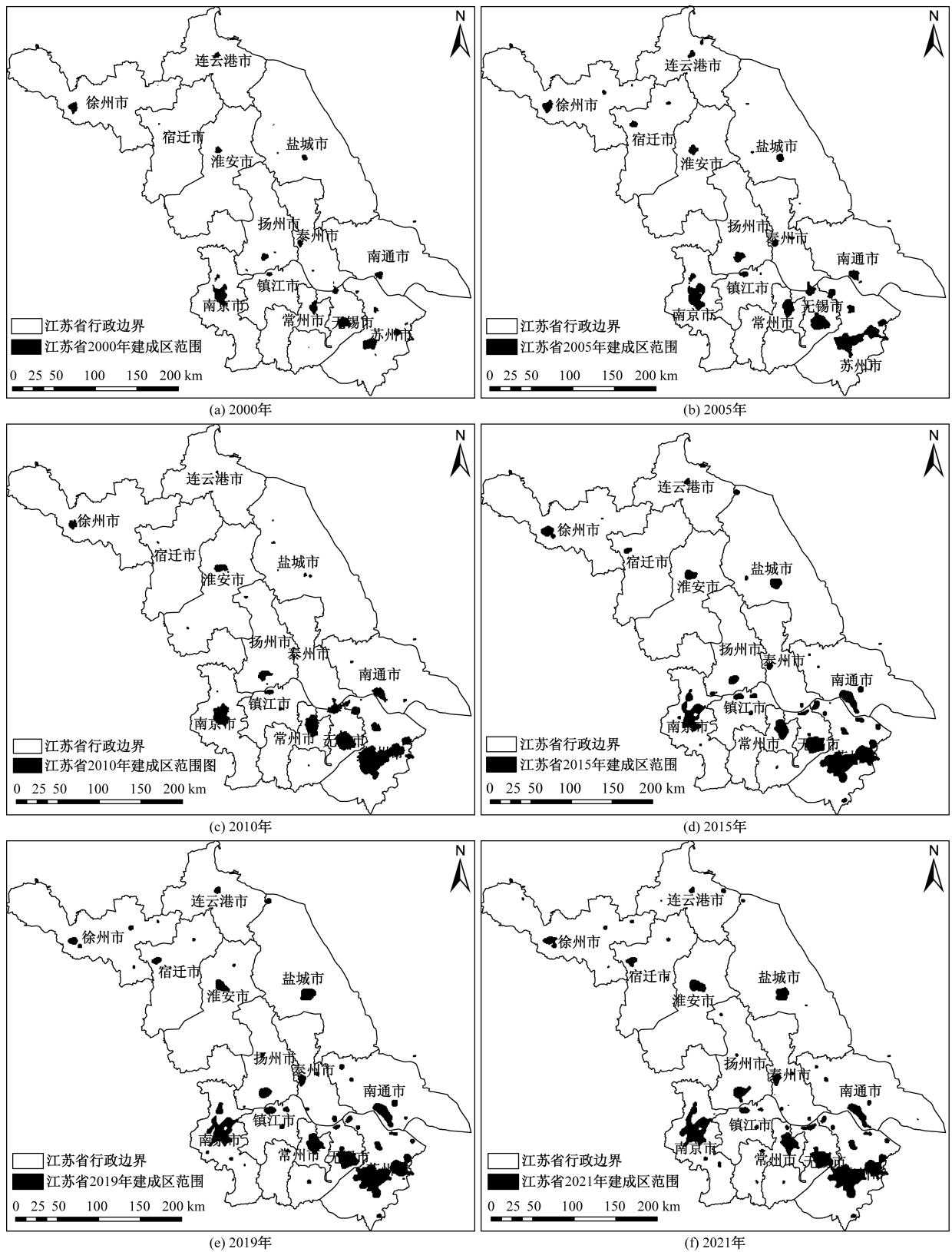
3.1 江苏省城市建成区提取结果分析

根据提取获得的建成区面积,结合统计数据,采用相对误差方法,将2000年、2005年、2010年、2015年、2019年、2021年6个年度的统计数据与利用夜间灯光数据提取的建成区面积进行对比,结果见表2,除2010年夜间灯光数据提取的建成区面积与统计年鉴中面积之间相对误差超过5%,其余年份相对误差均低于5%,其平均相对误差为3.59%。提取精度结果表明运用DMSP/OLS和VIIRS/DNB灯光数据提取江苏省建成区面积具有一定的可信度,能够以此为基础,对江苏省区域内城市建成区空间格局演变的过程进行深入探究。

从研究时段2000—2021年来看(图3),江苏省各地级市建成区随时间逐年变化,灯光影像斑块大小呈现向四周蔓延扩张趋势,各地级市城市建成区扩张十分明显。分时段变化来看,江苏省城市建成区总体呈现上升态势,其亮度值伴随城市发展中心向周边蔓延趋势逐渐降低,其中从逐年灯光变化过程中可以看出,各城市的主城区变化尤为显著。分时段来看,2000—2010年,苏南地区灯光亮度斑块面积增加突出,城市开始加速发展,城市化水平提高,经济发展也随之快速提升;2010—2015年苏北地区、

表2 6个年度建成区提取数据及相对误差统计

年份	统计面积/km ²	提取面积/km ²	相对误差/%
2000	1 382.27	1 401	1.36
2005	2 378.60	2 489	4.64
2010	3 271.10	3 105	-5.08
2015	4 189.20	4 057	-3.16
2019	4 648.30	4 482	-3.58
2021	4 858.00	5 038	3.71



审图号:苏 S(2023)26 号

图 3 江苏省 6 个年度建成区提取结果

苏中地区亮度值斑块面积范围扩张明显,城市发展整体向平衡方面演进,表明部分城市在此期间开始加速城市化建设,逐渐缩小与苏南地区之间的城市

化差距,但仍以第一梯队苏南地区,即南京都市圈、苏锡常都市圈经济发展为中心,经济也将迈向更高质量发展。

3.2 江苏省城市建成区扩张时空特征分析

2000—2021年度,结合江苏省建成区提取成果(图3)、面积变化率(图4)、扩展情况(表3)来看,江苏省各地级市建成区面积呈现快速增长状态,建成区面积2000—2021年共增长3 493.94 km²,增长了252.76%。22年间建成区年均增长率达到11.48%,增速不断放缓,2000—2010年平均增速12.04%,2010—2021年平均增速4.20%。其中,南京、苏州建成区扩张较为明显,建成区面积分别增加了666.78、543.45 km²,这与城市社会经济发展密切相关。而由于统计口径的变化,使得南通市建成区面积在2004年城市建设统计年鉴中出现了负增长。

分时段来看,2000—2005年,江苏省各地级市建成区面积扩张增速明显,以南京市、苏州市、盐城市最为突出,其增长速率达到90%以上,扩张近1倍。2005—2010年,宿迁市、徐州市等苏北城市建成区面积出现爆发式增长,苏南、苏中地区城市扩张放缓,进入经济快速发展阶段。2010—2015年,随着连云港市、南通市、无锡市建成区面积增长迅速的同时,江苏省各地级市都稳步发展。2015—2021年,各城市扩张速度开始进入稳步提升阶段,各城市之间开始以区域为中心进行协同发展,逐渐形成以南京、苏州等苏南城市为主的由“点”向“面”扩张模式,并逐步向江苏省稳步协调发展模式进行转化。

3.3 江苏省城市空间重心轨迹演变

重心移动距离反映了城市空间结构均衡变化幅度以及区域空间发展活性,重心位置变化则可有效反映城市建成区空间扩展方向变化趋势。通过

对2000—2021年城市扩张(图5)中的重心位置变化和偏移轨迹分析得出,2000—2021年江苏省城市发展迅速,城市重心偏移反映了整个区域的发展方向,全省建成区重心主要分布于几何重心以南,即苏南、苏中地区,说明江苏省经济发展呈现明显的南强北弱的现象,这主要是由于江苏省三大都市圈即南京都市圈、苏锡常都市圈和徐州都市圈三者区位权重相互抵消的结果。22年间,全省建成区重心的整体迁移方向是南偏东,体现了长三角地区一体化发展,苏南地区城市化建设显著。

分时段来看,2000年,江苏建成区重心主要是在南京市;2001—2005年逐渐南偏东大幅移动,相比苏北地区,苏南地区城市群建成区有大范围扩展;2006—2007年,随着苏北沿海经济带发展战略加速推进实施,城市建成区特别是所辖县建设加快,城市建设发展逐渐北移;2008—2009年,全省建成区重心迅速转向东南,苏南地区坚持实施城乡一体化发展战略,加快了建成区的扩张;2010—2014年,全省重心又转而向北偏西移动,仅在2012年

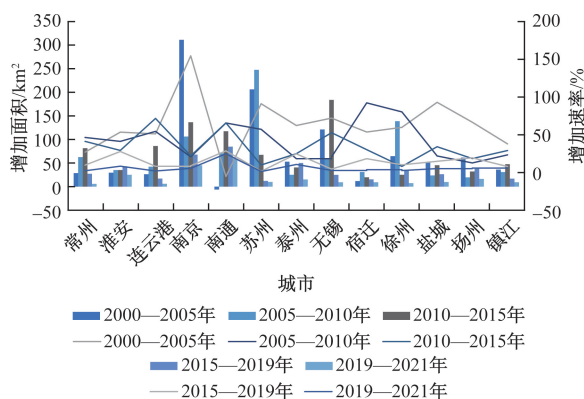
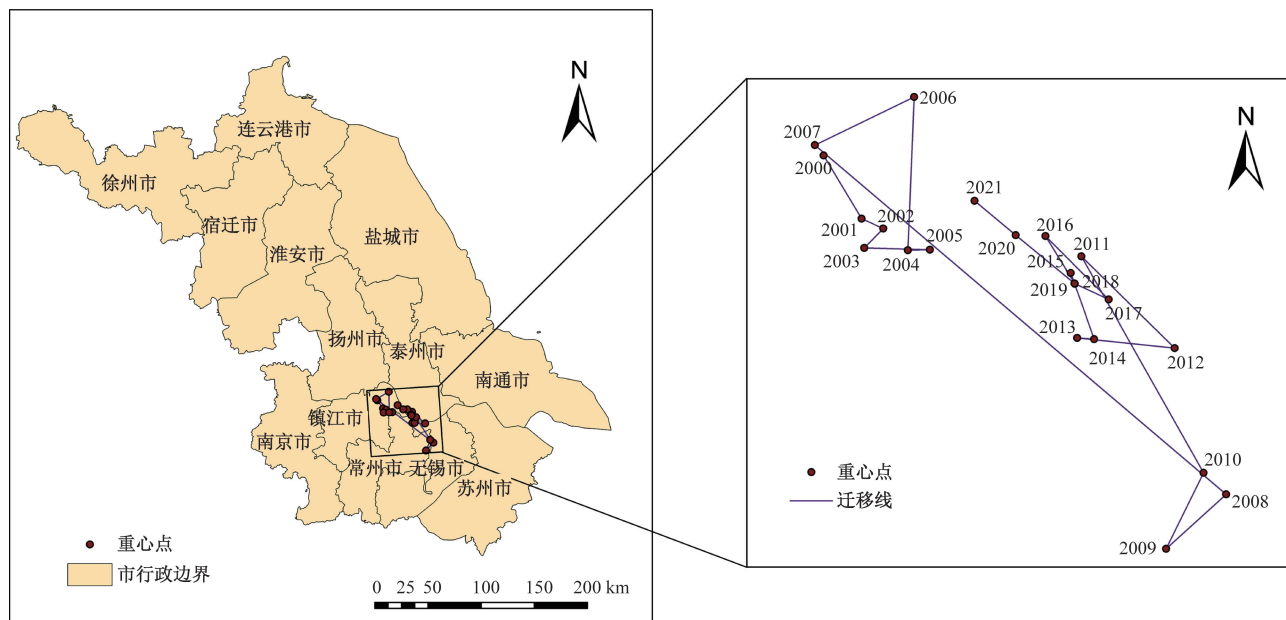


图4 2000—2021年江苏省各城市建成区增加面积及速率变化

表3 2000—2021年江苏省地级市建成区扩展情况

城市	2000—2005年		2005—2010年		2010—2015年		2015—2019年		2019—2021年		2000—2021年	
	增加面积/ km ²	速率/%	增加面积/ km ²	速率/%	增加面积/ km ²	速率/%	增加面积/ km ²	速率/%	增加面积/ km ²	速率/%	增加面积 合计/km ²	速率/%
常州	28.6	26.91	62.6	46.44	81.3	41.20	27.2	9.74	5.67	2.27	205.37	193.32
淮安	29.6	53.51	35.0	41.18	35.0	29.17	43.0	27.74	25.00	8.28	167.60	302.98
连云港	26.3	51.15	42.3	54.46	86.0	71.67	17.0	8.25	6.00	1.93	177.60	345.45
南京	311.2	154.52	106.0	20.69	136.6	22.09	67.7	8.96	45.28	5.50	666.78	331.73
南通	-6.1	-5.36	70.6	65.55	117.3	65.77	84.7	28.66	59.56	24.76	326.06	286.52
苏州	206.3	91.04	247.6	57.20	67.4	9.91	12.2	1.63	9.95	1.31	543.45	240.46
泰州	52.7	62.20	25.2	18.34	40.5	24.94	50.0	24.60	15.21	10.64	183.61	218.58
无锡	121.0	72.05	59.6	20.64	183.9	52.78	24.8	4.65	9.30	2.68	398.60	238.32
宿迁	11.8	53.64	31.2	92.31	19.7	30.31	15.5	18.25	9.30	3.78	87.50	397.70
徐州	64.6	59.83	138.5	80.21	25.0	8.04	34.3	10.20	7.40	2.62	269.80	249.81
盐城	52.5	93.02	23.8	21.89	45.4	34.20	26.3	14.78	9.60	5.23	157.60	279.82
扬州	61.6	66.52	19.6	12.72	32.0	18.41	39.9	19.38	16.45	5.84	169.55	183.69
镇江	36.3	37.88	30.8	23.27	47.4	29.11	16.7	7.94	9.12	4.02	140.32	147.36
总计	996.3	72.08	892.9	37.54	917.7	28.05	459.2	10.96	227.84	78.84	3 493.94	252.76



审图号:苏 S(2023)26 号

图 5 2000—2021 年江苏省重心迁移示意图

出现一次折返;2015—2021 年,随着苏北各地区的建设加速以及苏南地区建设由高速发展转向高质量发展,除 2017 年出现短暂的西南向偏移,全省建成区重心整体继续向西北偏移,并在 2021 年最终抵达最北端。

4 结论

利用 2000—2021 年 DMSP/OLS、VIIRS/DNB 夜间灯光数据提取江苏省 13 个地级市的建设用地,并对两种提取成果进行对比,得到以下结论。

(1)研究时段内,江苏省城市建成区发展迅猛,以南京、苏州、徐州为中心的城市辐射带动周边城市共同发展。

(2)江苏省城市化进程速度加快,并逐渐放缓。2000—2021 年江苏省城市建成区面积增长了近 8 倍,特别是南京市、苏州市的增长变化尤为显著。不同城市、不同时间段,城市扩张速度与扩张强度存在明显差异。2005 年以前,除南通市外,南京市、苏州市、盐城市处于快速增长阶段,2005—2015 年,上述 3 个城市进入缓慢扩张阶段,徐州、南通、宿迁、连云港等苏北城市发展较快,2015 年之后增速变缓呈稳定增长趋势。22 年间江苏省城市建成区的扩张强度总体趋势呈现为“南高北中快速扩展-北高南中调整过渡-整体低速内部扩充”发展过程。

(3)区域城市结构发展以政治经济的发达城市为主的发展模式,逐渐演变为区域协同发展,苏中、苏北城市后期不断发展,城市结构层次差距正在缓

慢缩小。由于经济社会发展,人类活动范围主要分布在城市核心区域,建成区域是非农业人口集中生产生活的阵地区,随着不断的人口城镇化,建成区发展方向也将人类活动范围作为其中一个指标。

长时间序列夜间灯光影像数据为大尺度空间城市化及人类活动监测研究提供了丰富的广域数据源,但也存在分辨率较低的问题,提取城市建成区方法也具有一定的主观色彩,仍需进一步提高科学性,如采用高分辨率影像对比法对夜间灯光数据进行处理,避免对统计数据的过度依赖^[24]。此外,鉴于灯光的溢出效应,影像中所呈现的灯光通量通常是以中心向外围扩散减弱,导致形状较为规则集中的城市建成区的边缘提取精度高于边缘呈齿状或不规则的建成区。同时,由于 DMSP/OLS 和 VIIRS/DNB 两种夜间影像数据的时间节点不同,使得研究过程中需要将两组夜间灯光影像数据进行匹配校正,但在城市化进程和人类活动监测的研究过程中,由于 VIIRS/DNB 影像噪声和 DMSP/OLS 影像过饱和等问题,也使得研究中面临提高精度的问题。因此,利用夜间灯光影像数据的综合应用研究过程中,虽然可以较好地描述城市扩张和城市重心轨迹变迁特征,为城市的社会经济发展提供不可或缺的参考,但同时也存在一定的局限,未来将进一步对其影响因素或驱动因素进行分析。

参考文献

- [1] 高雅雅,焦利民,王卫林. 共享社会经济情景下“一带一

- 路”沿线国家城市扩张空间格局分析[J]. 地理与地理信息科学, 2023, 39(6): 36-44.
- [2] 杜炜哲, 王睿宁, 俞炜杰, 等. 基于时序夜间灯光数据的甘肃省城市扩张模式研究[J/OL]. 遥感技术与应用: 1-10[2024-04-26]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/62.1099.tp.20230920.1014.002.html>.
- [3] 彭慧思, 王艳慧, 王志岗. 基于夜间灯光数据的郑州都市圈一体化景观格局的时空演变[J/OL]. 应用生态学报: 1-13[2024-04-26]. <https://doi.org/10.13287/j.1001-9332.202405.026>.
- [4] 高秀丽, 曾伟业. 基于夜间灯光数据的北部湾城市群空间扩张及驱动力研究[J]. 时空信息学报, 2023, 30(3): 400-409.
- [5] 宋艳华, 焦利民, 刘稼丰, 等. 城市扩张程度的影响因素分析:以武汉市为例[J]. 武汉大学学报(信息科学版), 2021, 46(3): 417-426.
- [6] LEVIN N, ZHANG Q. A global analysis of factors controlling VIIRS nighttime light levels from densely populated areas[J]. Remote Sensing of Environment, 2017, 190: 366-382.
- [7] 黄耀裔, 陈文成. 基于多源数据的多元综合法实现泉州市人口网格化[J]. 科技和产业, 2020, 20(8): 135-139.
- [8] 余盛华. 基于多源遥感数据的人口空间网格化研究:以福州市为例[J]. 科技和产业, 2023, 23(12): 237-244.
- [9] 林之强, 彭双云, 洪亮, 等. 基于夜光数据的滇中城市建成区动态监测与时空格局演变[J]. 水土保持研究, 2021, 28(1): 265-271.
- [10] 邓吴键, 李恒凯, 熊永柱, 等. 近20年粤港澳大湾区城市群时空演化格局分析[J]. 世界地理研究, 2020, 29(6): 1181-1189.
- [11] 毛卫华, 胡德勇, 曹冉, 等. 利用MODIS产品和DMSP/OLS夜间灯光数据监测城市扩张[J]. 地理研究, 2013, 32(7): 1325-1335.
- [12] 郭忻怡, 闫庆武, 谭晓悦, 等. 基于DMSP/OLS与NDVI的江苏省碳排放空间分布模拟[J]. 世界地理研究, 2016, 25(4): 102-110.
- [13] WU W, ZHAO H, WANG H, et al. The research of China urban efficiency based on suomi-NPP night-time light data[J]. Procedia Environmental Sciences, 2016, 36: 146-153.
- [14] 吴健生, 赫胜彬, 彭建, 等. 基于DMSP-OLS数据的城市发展空间特征研究[J]. 地理与地理信息科学, 2014, 30(2): 20-25.
- [15] 黄先梅, 赵建吉, 孟庆岩, 等. 基于夜间灯光数据的快速城镇化地区城市扩展与重心演变分析:以河南省为例[J]. 世界地理研究, 2019, 28(1): 79-89.
- [16] 杜炜哲, 王睿宁, 俞炜杰, 等. 基于时序夜间灯光数据的甘肃省城市扩张模式研究[J/OL]. 遥感技术与应用: 1-10[2023-10-24]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/62.1099.tp.20230920.1014.002.html>.
- [17] ELVIDGE C D, ZHIZHIN M, GHOSH T, et al. Annual time series of global VIIRS nighttime lights derived from monthly averages: 2012 to 2019[J]. Remote Sensing, 2021, 13(5): 922.
- [18] 江苏省统计局国家统计局江苏调查总队. 2021年江苏省国民经济和社会发展统计公报[N]. 新华日报, 2022-03-03(004).
- [19] 张梦琪, 何宗宜, 樊勇. DMSP/OLS稳定夜间灯光影像的校正方法[J]. 测绘通报, 2017(12): 58-62, 76.
- [20] WEI Y, LIU H X, SONG W. Normalization of time series DMSP-OLS nighttime light images for urban growth analysis with Pseudo Invariant Features[J]. Landscape and Urban Planning, 2014, 128: 1-13.
- [21] 邹进贵, 陈艳华, 田径, 等. 基于ArcGIS的DMSP/OLS夜间灯光影像校正模型的构建[J]. 测绘地理信息, 2014, 39(4): 33-37.
- [22] 李茜铭, 郑伯红, 熊羽军. 基于夜间灯光遥感数据的洞庭湖生态经济区城市群时空扩展[J]. 经济地理, 2021, 41(2): 92-102.
- [23] 李桂华, 范俊甫, 周玉科, 等. 基于VIIRS夜间灯光数据的山东半岛城市群发展特征研究[J]. 遥感技术与应用, 2020, 35(6): 1348-1359.
- [24] 宁旭辉, 云子恒, 于昊生. 基于多源数据的南宁市建成区数据提取及变化分析[J]. 湖北民族大学学报(自然科学版), 2023, 41(3): 414-420.

Analysis of Urban Spatial Dynamic Expansion by Using DMSP/OLS Images: Taking Jiangsu Province as an Example

LIU Xin^{1,2}, LI Lingfeng¹, CAI Qi³

(1. School of Architecture and Engineering, Yangzhou University, Yangzhou 225127, Jiangsu, China; 2. School of Civil Engineering, Southeast University, Nanjing 211189, China; 3. Changzhou Urban and Rural Construction Engineering Management Center, Changzhou 213001, Jiangsu, China)

Abstract: Citing the improved dynamic threshold method and centroid model, the spatiotemporal characteristics of urban dynamic expansion in Jiangsu Province were analyzed, revealing the spatial distribution and regional differences of the built-up areas in urban areas of Jiangsu Province. The results indicate that during the period from 2000 to 2021, the extracted urban built-up area matched reality, and its evolution pattern aligned with urban economic development. A “radiating” agglomeration pattern centered around Nanjing, Suzhou, and Xuzhou was formed. Different cities exhibited varying expansion speeds at different stages. The development center gradually shifted from south to north, transitioning from a development pattern dominated by the Nanjing metropolitan area and the Suzhou-Wuxi-Changzhou metropolitan area towards a more balanced development model.

Keywords: Jiangsu Province; urban built-up area; nighttime light images; urban expansion; regional gravity centre